

Tero Heiskanen

## **Blastman B20S-robotin käsivarren suojaukset kimpoavia rakeita vastaan**



Insinööri AMK,

Konetekniikka

Kevät 2016



KAJAANIN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

## TIIVISTELMÄ

**Tekijä:** Tero Heiskanen

**Työn nimi:** Blastman B20S-robotin suojaukset kimpoavia rakeita vastaan

**Tutkintonimike:** Insinööri (AMK), konetekniikka

**Asiasanat:** Pinnoitteet, raepuhallus, polyuretaani, muovit, kumit.

Tässä opinnäytetyössä tutkitaan raepuhallusrobotin teräksisen käsivarren suojaamista kimpoavia rakeita vastaan. Työn tilaajana toimii raepuhallusrobottiratkaisuja toimittava Blastman Robotics Oy. Yritys räätälöi asiakkaan tarpeiden ja toiveiden perusteella sopivan robottiratkaisun. Työssä tarkasteltu robotti, Blastman B20S, sijaitsee Kajaanilaisen Katera Steel Oy:n tiloissa.

Blastman Robotics Oy:n toimittamien robottien käsivarret on suojattu kestäväällä polyuretaanipinnoitteella, eikä niitä ole tilaajan edustajan mukaan tarvinnut vaihtaa tai korjata vielä koskaan. Polyuretaanin ominaisuudet kuten keveys, hinta, elastisuus ja kulumiskestävyys tekevät siitä hyvän pinnoitteen teräkselle.

Tähän opinnäytetyöhön valittiin vertailuun muutamia kulumiskestävyyttä lisääviä pinnankäsittelymenetelmiä. Näitä menetelmiä ovat erilaiset kumi- ja muovipinnoitteet sekä metallisista pinnoitteista booraus ja kovakromaus. Metallisissa pinnoitteissa on hyvät kulumisominaisuudet ja ne ovat todella kovia. Kuitenkin metallisten pinnoitteiden pinnoitusmenetelmät ovat hieman hankalia ja kalliita.

Lopputuloksena työlle saatiin selvyys polyuretaanin hyvistä ominaisuuksista verrattuna muihin pinnoitteisiin kulumiskestävyyttä vaativissa kohteissa. Lisäksi saatiin selvitettyä muita mahdollisia suojauskeinoja robotin käsivarren suojaamiseen.

## ABSTRACT

**Author(s):** Tero Heiskanen

**Title of the Publication:** Blastman B20S robot's protection against ricocheting blast.

**Degree Title:** Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

**Keywords:** Coatings, abrasive blasting, polyurethane, plastics, rubbers.

The objective of this thesis was to study blasting robot's protection against hail ricocheting in steel arm. The client, Blastman Robotics Ltd manufactures and delivers advanced robotic abrasive blast-cleaning systems. The company tailors the most suitable robotic solutions based on the customer's needs and wishes. The robot examined in this thesis, Blastman B20S, is located at Katera Steel facilities in Kajaani Finland.

Robot arms supplied by Blastman Robotics are protected with a sustainable polyurethane coating, and according to customers no replacement or repair have never needed to be done. Polyurethane features such as light weight, price, elasticity and abrasion resistance makes it a good coating for steel.

In this thesis a few coatings were selected for the comparison to increase the wear resistance of coating methods. These methods are different rubber and plastic coatings and metallic coatings, boronizing and hard chrome plating. Metallic coatings have good wear resistance and they are really hard. However, metallic coating methods are cumbersome and expensive.

As a result, for this thesis, we found out the good qualities of polyurethane against other coating materials when used to increase wear resistance in steel structures. In addition, we found out other ways to increase protection in robot's steel arm.

## ALKUSANAT

Opinnäytetyön prosessi laitettiin alulle jo marraskuussa 2015, jolloin aihetta alettiin etsiä. Aihe löytyi lopulta ohjaavan opettajan Sami Räsäsen kautta. Joulukuussa aihe hyväksyttiin opintovastaavalla ja aloitettiin tiedonhankinta. Tiedonhankinnassa suurta roolia näyttelivät kirjaston kirjat sekä aiemmin tehdyt opinnäytetyöt samankaltaisista aiheista. Materiaalitekniikkaan sekä pinnoituksiin perehdyttiin tässä työssä erittäin intensiivisesti. Erilaisia näkökulmia aiheeseen antoivat niin opettajat kuin ystävätkin.

Haluan kiittää työn tilaajan edustajia, Juha Junttilaa ja Olavi Mäenpäättä, ohjaavaa opettajaa Sami Räsästä sekä muita mukana olleita.

## SISÄLLYS

1 JOHDANTO.....	1
2 BLASTMAN ROBOTICS OY .....	2
2.1 Historia .....	2
2.2 Blastman B20S.....	2
3 RAEPUHALLUS .....	5
3.1 Laitteisto .....	5
3.2 Käyttökohteet .....	6
4 PINTAKÄSITTELY .....	7
4.1 Pinnoitteet .....	7
4.1.1 Pinnoitusmenetelmät.....	8
4.1.2 Ominaisuudet .....	9
4.2 Muita pintakäsittelymenetelmiä .....	9
5 MATERIAALIEN KOVUUDET .....	<b>VIRHE. KIRJANMERKKIÄ EI OLE MÄÄRITETTY.</b>
5.1 Vickers .....	11
5.2 Shore.....	11
6 MUOVIT .....	12
6.1 Muovituotteiden valmistus .....	12
6.2 Polyuretaani (PUR) .....	14
6.3 Ominaisuudet ja valmistus .....	14
6.4 Vulkollan.....	15
7 KUMIT .....	17
7.1 Yleiskumit.....	17
7.2 Erikoiskumit.....	18

7.3 Termoplastiset kumit .....	18
8 MUUT KULUMISTA KESTÄVÄT PINNOITTEET .....	20
8.1 Booraus .....	20
8.2 Kovakromaus .....	21
9 TULOSTEN TARKASTELU .....	22
9.1 Metalliset pinnoitteet.....	22
9.2 Kumipinnoitteet.....	22
9.3 Polyuretaani PUR.....	23
9.4 Letkujen suojaus .....	25
9.5 Muut suojauskeinot .....	25
10 YHTEENVETO .....	28
LÄHTEET .....	29
LIITTEET	

## SYMBOLILUETTELO

Manipulaattorilla tarkoitetaan robotin käsivartta.

Raaka-aine käsikirjan mukaan Elastomeeri on suurimolekyylinen aine, joka palautuu nopeasti lähes alkuperäisiin mittoihinsa ja muotoonsa heikon jännityksen aiheuttaman muodonmuutoksen ja jännityksestä vapauttamisen jälkeen. [2.]

RIM (Reaction Injection Moulding) on kehittynyt pääasiallisesti polyuretaanien (PUR) valmistusmenetelmänä. Menetelmä edellyttää käytettävältä materiaailta hyvin suurta polymeroitumisnopeutta. Kyseessä on käytännössä ruiskuvalun erikoistapaus, jota on alettu pitää omana valmistusprosessinaan. [8.] RIM-menetelmä soveltuu pienehköille tuotantosarjoille.

## 1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tilaajana toimii Blastman Robotics Oy, jonka pääpaikka sijaitsee Oulussa. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisia pinnoitteita Blastman B20S-robotin käsivarteen eli manipulaattoriin. Nykyisin käytössä oleva polyuretaanipinnoite on osoittautunut kestäväksi, mutta tilaaja halusi aihetta tutkittavan lähemmin. Tässä opinnäytetyössä tutkitaan mahdollisia vaihtoehtoja nykyiselle polyuretaanille.

Työn tavoitteena on tutkia ja vertailla mahdollisia pinnoitteita sekä niiden etuja verrattuna nykyiseen pinnoitteeseen. Otin tutkimuksiini lähempää tarkastelua varten erilaisia kumi- ja muovipinnoitteita, sillä niissä on hyvät kulumisominaisuudet. Keraamisien pinnoitteiden kulumisominaisuudet ja lämmönkesto ovat hyvät, mutta niiden hinnat pudottavat ne vertailusta pois. Haluttu pinnoite tulisi olla kevyt, hinnaltaan edullinen sekä kulutuskestävyydeltään hyvä.

Työn alkuvaiheessa olin ymmärtänyt, että robotin käsivarteen tulisi rakentaa metallinen suojalevy, joka suojaisi pinnoitetta suorilta iskuilta. Mallinsin 3D-ohjelmistolla peltisen suojalevyn robotin käsivarren etuosaan. Myöhemmin selvisi, että peltinen suojalevy ei olisi kovin käytännöllinen, sillä robotti joutuu välillä työskentelemään ahtaissa väleissä ja suojalevy olisi mahdollisesti haittana. Tämän jälkeen sain täsmennystä tilaajalta, että voisin tutkia mahdollisia vaihtoehtoja polyuretaanipinnoitteelle, joka heillä oli tällä hetkellä käytössä.



## 2 BLASTMAN ROBOTICS OY

Blastman Robotics Oy on raepuhallusrobotteihin erikoistunut oululainen yritys. Yritys tarjoaa asiakkaalleen räätälöityjä raepuhallusrobottiratkaisuja sekä kunnossapito- ja huoltotoimia. Blastman Robotics Oy toimii yli 30 maassa ja on vakiinnuttanut asemansa maailman johtavana raepuhallusrobottien ja manipulaattoreiden toimittajana.

### 2.1 Historia

Raepuhallusrobottien kehittäminen alkoi 1980-luvulla, jolloin yritys oli Tampellan sisaryhtiö Tammec. Tampella oli suuri ja menestynyt insinööritoimisto. Ensimmäinen raepuhallusrobotti asennettiin vuonna 1982 Tampellan työpajassa. Valmetille Jyväskylään toimitettiin ensimmäinen automatisoitu ja opetettavissa oleva robotti vuonna 1985. Vuonna 1986 yritys toimitti ensimmäisen manipulaattorin ulkomaille, Ruotsiin Tudorin konepajalle.

Vuonna 1988 Tammec siirtyi Rautaruukin omistukseen. Vuonna 1997 Rautaruukki päätti keskittyä ydinliiketoimintaansa, teräksen tuotantoon, ja Blastman Robotics Oy:stä tuli itsenäinen yhtiö.

### 2.2 Blastman B20S

Blastman B20S-robotti on 8-akselinen gantry-tyypin robotti. Gantry-tyypin robotti ikään kuin "roikkuu" katosta alaspäin. Robotilla voidaan puhalttaa hyvin suuria kappaleita, sillä sen toimintasäde on useita kymmeniä metrejä. Blastman B20S-robottia käytetäänkin mm. junanvaunujen, laivanmoottorin osien ja muiden suurien teräsrakenteiden valmistuksessa.

Työn tilaajan edustajan mukaan robotin akseleiden maksimi liikealueet ja liikkeiden maksimi pituudet ovat:

- 1. Akseli. Robotin runko, pituussuunta 64 m
- 2. Akseli. Ajokelkka, leveyssuunta 12 m
- 3. Akseli. Teleskooppipuomin kääntö  $\pm 180^\circ$
- 4. Akseli. Teleskooppipuomin pystyliike 6 m
- 5. Akseli. Vaakapuomi 1, nosto ja lasku  $200^\circ$
- 6. Akseli. Vaakapuomi 2, nosto ja lasku  $200^\circ$
- 7. Akseli. Vaakapuomin pään kierto  $360^\circ$
- 8. Akseli. Suutin  $270^\circ$ .



Kuva 1. Blastman B20S-robotti [6].

Robotin akselien liikkeet saadaan aikaan servomootoreilla. Paineilmaa käytetään vain raepuhallukseen. Ohjelmointi voidaan tehdä manuaalisesti tietokoneella mukana tulevalla ohjelmalla tai käsiohjaimella robotin välittömässä läheisyydessä.

Robotit sijoitetaan suljettuun raepuhalluskammioon, jossa ilmanvaihto ja teräsra-  
keiden uudelleenkierrätys on automatisoitu. Robotin ohjaamo on sijoitettu raepu-  
halluskammion välittömään läheisyyteen ja ohjaamosta on näköyhteys puhallus-  
kammioon. Raepuhallusrobotti liikkuu vaakatasossa puhalluskammion seinällä  
olevia kiskoja pitkin. Pystysuuntaiset liikkeet saadaan aikaan teleskooppipuomil-  
la. [10.]

### 3 RAEPUHALLUS

Raepuhallus, joka paremmin tunnetaan nimellä hiekkapuhallus, on pinnanpuhdistusmenetelmä, jossa aines puhalletaan paineilman avulla suurella nopeudella kappaleen pintaan. Puhallettava aines irrottaa epäpuhtaudet kappaleen pinnasta. Raepuhallusta käytetään esikäsittelynä monelle pinnankäsittelymenetelmälle.

#### 3.1 Laitteisto

Erilaisia raepuhalluskaappeja ja yksiköitä on erittäin paljon tarjolla pienten kappaleiden puhdistamiseen. Tämän lisäksi on käsipuhalluslaitteisto, jossa käyttäjä manuaalisesti ohjaa kompressorilta tulevaa letkua. Käsin puhallettaessa on erityisen tärkeää suojarusteiden käyttö ja laitteiden kunto, koska rakeet tulevat jopa yli 200 m/s nopeudella suuttimesta ulos.

Robotilla suoritettava raepuhallus tehdään erillisessä puhalluskammiossa. Tällöin ei tarvitse käyttää suoja-asua, koska käyttäjä työskentelee suljetussa, ilmastoidussa ohjaamossa. Ohjaamosta robottia voidaan ohjata joystickillä ja seurata raepuhalluksen etenemistä. Puhalluskammioiden avulla voidaan työskennellä sisätiloissa haittaamatta muuta tuotantoa, ja kammioissa voidaan järjestää rakeiden uudelleenkierrätys sekä puhalluspaikan ilmanvaihto. Puhalluskammioissa käytetään yleensä ritilälattiaa, jonka alla sijaitsevat kolakuljettimet. Puhalletut rakeet tippuvat ritilän lävitse kolakuljettimiin, jotka siirtävät rakeet uudelleen käytettäväksi. [4.]

Raepuhallussuuttimen halkaisija on suuri ja siksi siitä virtaa paljon ilmaa läpi. Jotta paine raepuhallusletkussa saadaan pysymään korkeana, on ilman tuotonkin oltava suuri. Tämän vuoksi raepuhalluksessa käytettävältä kompressorilta vaaditaan erittäin suurta tuottoa ja korkeaa painetta. Kompressorin on pystyttävä tuottamaan niin paljon ilmaa, että paine ei laske alle 0,7 MPa:n raepuhallusletkun päässä. [5.]

### 3.2 Käyttökohteet

Raepuhallusta käytetään esikäsittelynä monelle eri työvaiheelle, kuten metallien maalaukselle tai pinnoittamiselle. Myös vaateteollisuus käyttää raepuhallusta mm. denim-farkkujen värinpoistoon, jolla luodaan kuluneisuutta jäljitteleviä sävyjä. Raepuhalluksella poistetaan kappaleen pinnasta epäpuhtaudet, jotka aiheuttaisivat ongelmia myöhemmin esimerkiksi maalin alla.



Kuva 2. Laivan lohkon raepuhallus [6].

## 4 PINTAKÄSITTELY

Metalleja pinnoitetaan, jotta niille saataisiin uusia ominaisuuksia tai halutaan suojata perusmateriaalia. Tuotteen käyttöarvoa ja kestoikää voidaan parantaa huomattavasti ja edullisesti, kun otetaan tuotteen valmistusta suunniteltaessa huomioon oikea pinnoite. Suunniteltaessa tuotetta on tunnettava ominaisuudet, joita tuotteelta vaaditaan ja millä pinnoitteella ne saavutetaan. Lisäksi on tiedettävä vaatimukset, joita pinnoitteen valmistus asettaa tuotteen rakenteelle sekä muotoilulle. [1.]

Oikein suoritettu ja tarkoituksenmukainen pinnoitus on yritysten laatu järjestelmien tavoite ja asiakkaan etu kilpailukyvyn säilyttämiseksi. Kun valitaan pinnoitteen valmistusmenetelmää ja pinnoitetta, on otettava huomioon menetelmän saatavuus, pinnoitettavan kappaleen ominaisuudet sekä kustannukset. Kappaleen ominaisuuksien kuten muodon tunteminen on tärkeää, sillä nurkat ja onkalot ovat vaikeita pinnoittaa. Kokoonpantavien osien pinnoittamisessa on myös tärkeä tietää osien liittämismenetelmät, kun osat pinnoitetaan ennen liittämistä. [1.]

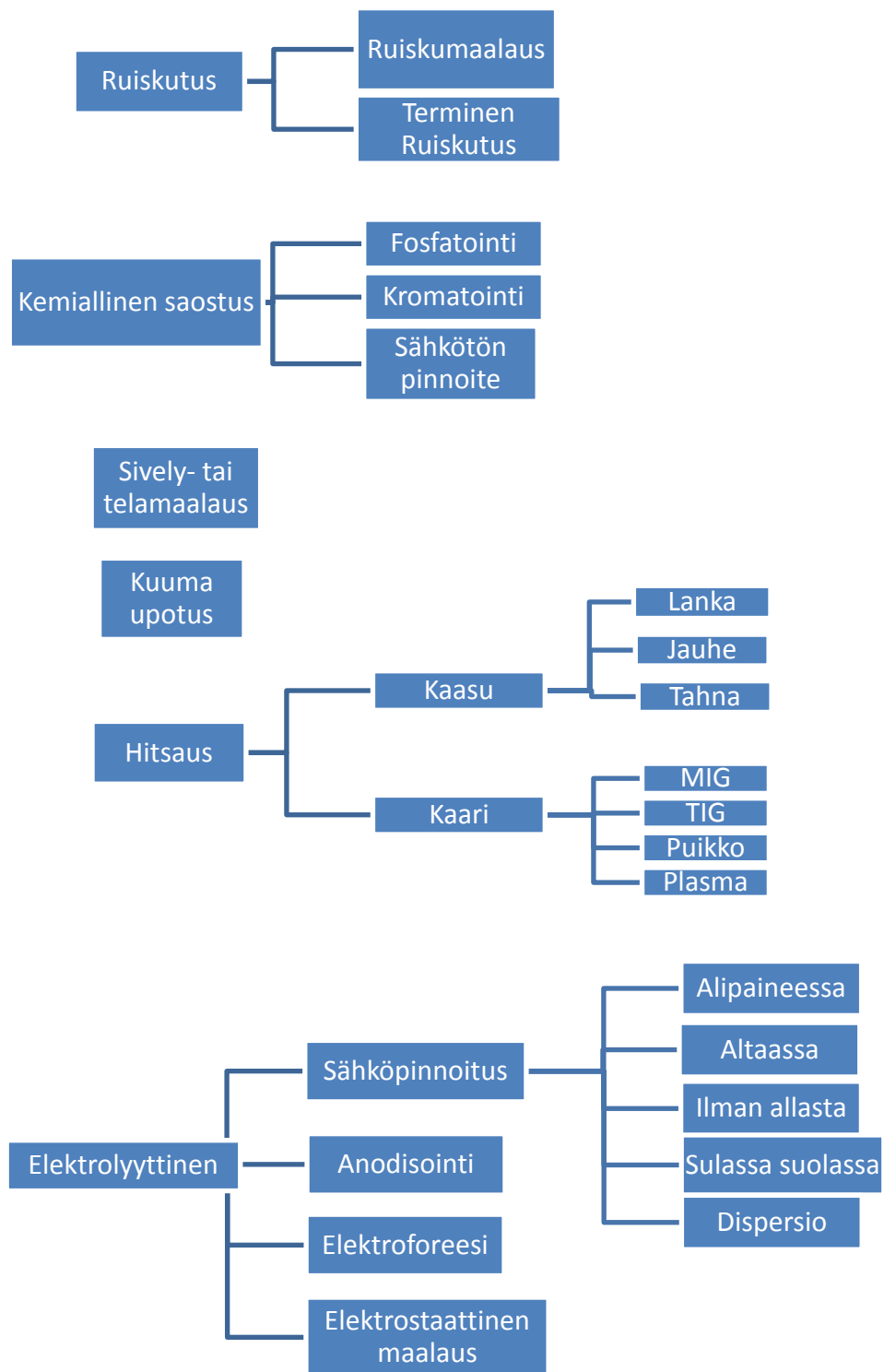
### 4.1 Pinnoitteet

Yleisin pinnoitettava materiaali on seostamaton teräs, mutta myös muita materiaaleja kuten muovia pinnoitetaan. Pinnoitemateriaaleina käytetään metallisia pinnoitteita, ei-metallisia pinnoitteita ja orgaanisia pinnoitteita. Metallisilla ja ei-metallisilla pinnoitteilla lisätään yleensä perusmetallin kovuutta tai korroosionestokykyä. [1.]

Yleisin pinnoitusmenetelmä on maalaus, jolla koneenrakennuksessa suojataan rakenne korroosiolta, parannetaan ulkonäköä ja helpotetaan sen puhtaana pitämistä. Lisäksi maalauksella annetaan haluttava mielikuva valmistajasta.

#### 4.1.1 Pinnoitusmenetelmät

Pinnoitusmenetelmiä on esitetty seuraavassa kuvassa.



Kuva 3. Pinnoitusmenetelmät [1].

Teräksen pinnoittamiseen yleisimmin käytetyt pinnoitusmenetelmät ovat sähköpinnoitus, terminen ruiskutus, upotus ja maalaus. Sähköpinnoituksessa pinnoitettava esine upotetaan metalli-suolapitoiseen vesiliuokseen, johon aletaan syöttää sähköä. Sähkövirran avulla esineen päälle saostuu metallipinnoite. Termisessä ruiskutuksessa sula aines ruiskutetaan paineilman avulla haluttuun pintaan. Upotuksessa pinnoitettava kappale upotetaan sulaan pinnoiteainekseen. Maalauksessa voidaan sivellä, telata tai ruiskuttaa aines pinnoitettavaan pintaan. [1.]

#### 4.1.2 Ominaisuudet

Pinnoitteiden ominaisuudet määräävät käytettävän pinnoitteen. Metallipinnoille valitaan monesti muovipinnoite, kun halutaan lisätä kulutuskestävyyttä edullisesti. Fysikaalisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi kulumiskestävyys, kovuus ja sähkön tai lämmönjohtavuuden parantaminen. Usein pinnoitteella halutaan lisätä myös ulkonäöllisiä ominaisuuksia, kuten väriä ja kiiltoa. Myös erilaisia varoitusvärejä voidaan luoda pinnoittamalla.

#### 4.2 Muita pintakäsittelymenetelmiä

Pintakäsittelymenetelmiä on pinnoittamisen lisäksi mekaaninen ja kemiallinen pintakäsittely. Seuraavassa taulukossa on esitetty pintakäsittelymenetelmiä tarkemmin.



Taulukko 1. Pintakäsittelymenetelmät [1].

Kemiallinen pintakäsittely	Kemiallinen	Syövytys
		Hapettuminen
	Diffuusio	Hiiletys
		Nitraus
		Booraus
		Metallointi
	Implantointi	Ioni-istutus
Mekaaninen pintakäsittely	Valssaus	
	Hionta	
	Vasarointi	
	Suihkupuhallus	
	Kiillotus	
	Lastuava työ	
Lämpökäsittely	Liekkikarkaisu	
	Laserkarkaisu	
	Elektronisuihkukäsittely	
	Induktiokarkaisu	
	Kokillivalu	

## 5 MATERIAALIEN KOVUUDET

Materiaalien kovuuksia mitataan ja määritetään eri keinoin. Metalleja varten on monia eri kovuusasteikoita, mutta tähän työhön otettiin kovuusasteikoksi vain Vickers-asteikko. Muovien kovuutta mitataan yleensä käyttäen Shore-asteikkoa.

### 5.1 Vickers

Vickers-kovuuskokeessa pyramidin muotoista timanttia painetaan kovalla voimalla materiaaliin 10-15 sekunnin ajan. Materiaaliin syntyneestä painumasta mitataan pinta-ala ja jaetaan kuormitus sillä. Kuormitus merkitään kilopondina (kp). [11.]

$$Kovuus HV = \frac{Kuormitus (kp)}{Painuman pinta - ala (mm^2)}$$

### 5.2 Shore

Shore-asteikkoa käytetään pehmeillä kappaleilla kuten muoveilla ja kumeilla. Shore-kokeissa käytettävää durometriä painetaan kappaleen pintaan, jolloin mittarissa oleva kärki painautuu materiaaliin. Mittari näyttää sen jälkeen kovuuden Shore-asteikolla. [17]. Shore-asteikoita on kolme: Shore A, Shore D ja Shore00. Näistä asteikoista Shore A ja D ovat kovemmille muoveille. [16].

Shore A-asteikon vertailuna voidaan käyttää autonrengasta, joka on kovuudeltaan 70 ja pyyhekumia, jonka kovuus vastaavasti 40. Muovinen suojakypärä on kovuudeltaan kovimmalla asteikolla eli Shore D-asteikolla noin 80 Shore D. Edellä mainittu autonrengas on Shore D-asteikolla vain 15. [16].

## 6 MUOVIT

Muovit ovat polymeerimateriaaleja, ja niitä voidaan muotoilla lämmön sekä paineen avulla. Muovien pääryhmät ovat kestopuovit ja kertamuovit. Kestomuoveja voidaan muovata lämmön ja paineen avulla useita kertoja. Kertamuoveja voidaan muovata nimensä mukaisesti vain kerran. Muovien ominaisuudet vaihtelevat hyvin laajasti. Muovien mekaaniset ominaisuudet ovat hyvin tunnetut, mutta monet muut ominaisuudet ovat vielä tuntemattomia. [1.]

### 6.1 Muovituotteiden valmistus

Valmistusmenetelmät sekä valmistusvaiheet vaikuttavat merkittävästi muovituotteiden aineominaisuuksiin mm. lujuuteen ja muovin pysyvyyteen. Muovien materiaalina P.Lepolan [11, s.110] mukaan käytetään mm. raakaöljyä, maakaasua ja tarvittaessa myös hiiltä. Muovi valmistetaan polymeereistä ja valituista lisäaineista [3].



Kuva 4. Muovin pääosat [3].

Kestomuovituotteiden yleisimpiä valmistusmenetelmiä ovat ruiskuvalu, ekstruusio eli suulakepuristus, muottiin puhallus, syväveto, ruiskutus, kastaminen ja rotaatiovalu. Kertamuovituotteiden yleisimpiä valmistustapoja ovat ruiskupuristus, syväveto ja suulakepuristus. [2.] Suurin osa edellä mainituista menetelmistä on suurille sarjoille kehitettyjä, eikä siksi ole kannattavia pienillä tuotantosarjoilla tai yksittäisiin kappaleisiin.

Taulukko 2. Kertamuovien ominaisuuksia ja käyttökohteita [11].

Lyhenne	Nimike	Ominaisuuksia ja käyttökohteita
PF	Fenoli-formaldehydi	Jäykkä, tumma. Sähkörasiat, kotelot, hammaspyörät, liukulaakerit jne.
EP	Epoksi	Hyvä tarttuvuus muihin materiaaleihin. Valumateriaali sähkölaitteiden kotelointiin, liimat, metallin pinnoitelakat jne.
UF	Urea-formaldehydi	Jäykkä, kova, laaja värivalikoima, hyvä tarttuvuus. Virtakytkimien kotelot, liimat ja lakat.
MF	Melamiini-formaldehydi	Jäykkä, kova, laaja värivalikoima, hyvä tarttuvuus, elintarvikemuovi. Taloustarvikkeet, suppilot, kotelot, liimat, pinnoitelakat.
UP	Polyesterit	Käytetään yleisesti lasikuitulujitteisten muovien valmistukseen. Veneet, säiliöt, karttakepit, pinnoitteet.
PUR	Polyuretaani	Kulutuspinnoissa ja telapäällysteissä. Polyuretaania käytetään vaahdotettuna lämpöeristeinä ja täyteaineena. Käyttölämpötila-alue -30...+80 °C.

## 6.2 Polyuretaani (PUR)

Polyuretaanit muodostavat hyvin monikäyttöisen muoviryhmän. Polyuretaanin kehitti saksalainen Otto Bayer vuonna 1937 ja hänen menetelmänsä on pohjana myös nykyiselle polyuretaanitekniikalle. [13.]

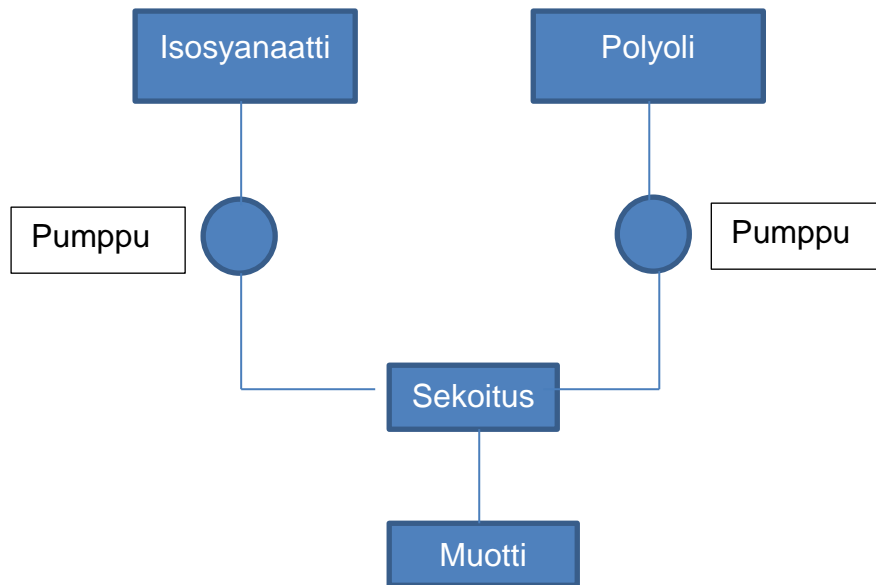
Polyuretaani muodostuu reaktiossa isosyanaatin ja polyolin kesken. Polyuretaanin ominaisuudet vaihtelevat valitun isosyanaatin ja polyolin sekä niiden suhteiden mukaan. Isosyanaatti on yhdestä typpi-, yhdestä hiili- ja yhdestä happiatomista koostuva reaktiivinen ryhmä. Polyoli sen sijaan on moniarvoinen alkoholi, jossa on useampi hydroksyyli-ryhmä. [7.]

Polyuretaanista valmistetaan nykyään lukuisia tuotteita, kuten patjoja, istuimia, jalkineiden pohjia, holkkeja, vetorullia sekä eristelevyjä. Polyuretaani on kerta-muovi, eli sitä ei voi muovata jälkikäteen. [7.]

Polyuretaanituotteiden valmistajien käyttämät aineet ja menetelmät poikkeavat usein toisistaan, joten täsmälleen samanlaista tuotetta ei välttämättä saa kahdelta eri valmistajalta. [8.]

## 6.3 Ominaisuudet ja valmistus

Polyuretaani valmistetaan RIM-menetelmällä eli reaktiovalulla, jossa kaksi komponenttia (isosyanaatti ja polyoli) sekoitetaan yhteen ponneaineen kanssa. Sekoituksen jälkeen aines injektoidaan muottiin mahdollisten muiden lisäaineiden kanssa. RIM-menetelmän lisäksi on myös erikois-RIM-menetelmiä RRIM- ja SRIM-menetelmä. RRIM-menetelmä eli Reinforced RIM tarkoittaa vahvistettua menetelmää, jossa käytetään yleensä lasia vahvistaineena. RRIM-menetelmää käytetään kohteisiin, joissa vaaditaan lujuutta. SRIM eli Structural RIM tarkoittaa rakennemenetelmää, jossa käytetään lujitteina valmiita lujiteaihiota. SRIM-menetelmää käytetään edellistä vieläkin suurempaa lujuutta vaativiin kohteisiin. SRIM-menetelmän vetolujuus on noin 10-kertainen RRIM-menetelmään verrattuna. [13.]



Kuva 5. RIM-menetelmän periaate [13].

RIM-menetelmä on nopea, tarkka ja kappaleilla on hyvät jousto-ominaisuudet. Huonoja puolia ovat korkeat laiteinvestoinnit sekä huono värjättävyys, joten kappaleet on yleensä maalattava. [13.]

Pinnoitteena polyuretaanilla on hyvät kulumisominaisuudet, laaja käyttölämpötila-alue sekä hyvä tarttuvuus. Polyuretaanin maksimikovuus vaihtelee välillä 80-90 Shore A-asteikolla.

Polyuretaanin polyolin sekä isosyanaatin seossuhteita muuntelemalla saadaan erilaisia ominaisuuksia. Polyoli/isosyanaatti- eli P/I-indeksi ilmaisee seossuhteen. Pieni P/I-arvo tarkoittaa pehmeää, kimmoisaa ja palautuvaa vaahtoa. Suuri P/I-arvo tarkoittaa päinvastoin korkeaa kovuutta ja palautumatonta vaahtoa.

#### 6.4 Vulkollan

Vulkollan on yksi monista polyuretaanielastomeereista. Vulkollania maahantuo Suomeen SP-Plast, joka mainostaa Vulkollania vanhimpana, parhaiten tunnettuna ja tehokkaimmin toimivana polyuretaanielastomeerina. Se on valmistettu polyesteri-polyuretaani di-isosyanaatti Desmodur 15:sta ja molekyyliketjua kasvattavasta lisäaineesta. [12.]

Vulkollanin ominaisuuksia ovat:

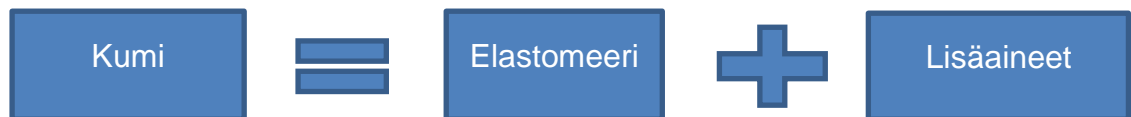
- eriomainen mekaanisen kulumisen ja repimisen kesto
- korkea iskusitkeys
- korkea repeämislujuus
- matala jäännöspuristuma
- kestää öljyä, rasvaa, bensiiniä ja muita aineita
- hyvä kesto otsonia, UV- ja muita energiaa sisältäviä säteitä vastaan. [12.]

Vulkollania käytetään sektoreilla, joissa tarvitaan erityisen hyvää kulumiskestävyyttä, repimislujuutta sekä mekaanista luotettavuutta. Käyttökohteita ovat mm.

- rullat ja telat
- kostutus ja jousto komponenteissa
- kulumisen ja repimisen kestoja vaativissa päällysteissä
- äänieristys päällysteissä
- nopeusvaihte- ja kytkinkomponenteissa
- tiivisteissä
- pyyhkimissä ja kaavareissa
- leikkuusauvoissa. [12.]

## 7 KUMIT

Teknisten kumien perusosan muodostavat elastomeerit. Lisäämällä niihin lisäaineita voidaan valmistaa suuri määrä erilaisia kumimateriaaleja. Kumien ja muovien välille on nykyään vaikeaa vetää selvää rajaa. [2.]



Kuva 6. Kumin pääaineosat [3].

Kumit voidaan raaka-ainekäsikirjan [2, s.103] mukaan jaotella yleiskumeihin, erikoiskumeihin ja termoplastisiin kumeihin. Termoplastisilla kumeilla on sekä kumin että muovin ominaisuuksia.

### 7.1 Yleiskumit

Yleiskumeille on olennaista aineen luonnonkumin kaltainen kumikimmoisuus. Ryhmään kuuluvat mm.:

- luonnonkumit
- styreeni-butadieenikumit
- isopreenikumit
- butadieenikumit
- regeneroitu kumi. [2.]



## 7.2 Erikoiskumit

Erikoiskumeilla on jokin luonnonkumeista poikkeava erikoisominaisuus. Ne saattavat kestää paremmin esimerkiksi öljyn, bensiinin, sään, otsonin tai lämmön vaikutusta kuin yleiskumit. Erikoiskumit ovat yleiskumeja kalliimpia ja vaikeampia työstää. Erikoiskumien ryhmään kuuluvat mm.:

- nitrilikumit
- silikonikumit
- butylikumit
- kloropreenikumit
- eteeni-propeenikumit
- fluorikumit. [2.]

## 7.3 Termoplastiset kumit

Termoplastiset kumit sijoittuvat ominaisuuksiensa puolesta muovien ja kumien väliin. Termoplastiset kumit ovat lämpömuovautuvia kimmoisia polymeerejä, joita ei tarvitse vulkanoida. Niitä on olemassa neljä pääryhmää:

- styreeni-butadieeni-styreeni-blokki-polymeerit
- polyolefiinit
- termoplastiset polyuretaanit (TPU)
- termoplastiset polyesterit.

Termoplastisilla kumeilla saavutetaan seuraavat edut:

1. Suurempi elastisuus kuin useimmilla muoveilla.
2. Laajempi käyttölämpötila-alue kuin muoveilla.
3. Voidaan työstää muovinjalostuskoneissa. [2.]

## 8 MUUT KULUMISTA KESTÄVÄT PINNOITTEET

Abrasiivista kulumista kestäviä pinnoitteita teräkselle on lukuisia. Metallipinnoitteista kovakromaus ja booraus lisäävät teräksen kovuutta, kulutuskestävyyttä ja liukkautta, joten näitä menetelmiä tutkittiin tarkemmin.

### 8.1 Booraus

Booraus on termokemiallinen käsittely, jossa metallin pintaan muodostuu kova boridikerros. Käsittely voidaan suorittaa jauheessa, kaasussa, pastassa tai suolakylvyssä. Boorauslämpötila on 800–1050°C, ja käsittelyaika vaihtelee yhdestä kuuteen tuntiin. Käsittelyllä saavutettava kovuus vaihtelee välillä 1200–2000 HV. Boorattujen kappaleiden on todettu kestävän kulumista 3 - 7 kertaa paremmin kuin käsittelemättömien kappaleiden. [1.]

Boridikerroksen paksuus riippuu pinnoitusajasta, pinnoitettavasta aineesta ja pinnoituslämpötilasta. Niukkaseosteisen teräksen päälle muodostuu paksumpi kerros kuin runsasseosteisen teräksen. Kun halutaan kulumiskestävä pinta, valitaan niukkaseosteinen teräs. [1.]

Boridikerroksessa haurautta aiheuttaa kerroksen sisäiset jännitykset. Jännityksiä syntyy koska boridikerroksen ominaistilavuus on suurempi kuin perusmateriaalin ominaistilavuus. Haurautta vähennetään boorauksen jälkeen suoritettavalla karvaisella ja päästöllä. Nämä toimenpiteet eivät kuitenkaan huononna kulumiskestävyyttä. [1.]

Boorauksen käyttökohteita ovat mm. holkit, kuljetusputket, ohjauslevyt, telat, akselit, suulakkeet, valssit, mestit, kuulalaakerit, vetotyökalut ja pursotustyökalut.

## 8.2 Kovakromaus

Kovakromaus, toiselta nimeltään tekninen kromaus, on elektrolyyttinen pinnoitusmenetelmä. Kovakromaus antaa kappaleelle kovan, kulutusta ja korroosiota kestävän liukkaan pinnan. Sen kitkakerroin on pienempi kuin millään muulla metallilla. [1.]

Kovakromaus tapahtuu sähköpinnoituksella ns. kromikylvyssä, jonka vuoksi pinnoitettavien kappaleiden koot ovat altaiden kokojen rajoissa. Kromikylvyn makrolevityskyky on huono, jonka vuoksi pinnoitusvirran ohjaamiseen tarvitaan usein apuanodeja ja varjostimia. [1.]

Kovakromausta on käytetty pitkään parantamaan koneenosien kulutuskestävyyttä, kitkaominaisuuksia ja korroosionkestoa. Yleensä koneenosien päälle pinnoitettu kerros on paksuudeltaan yli 10 µm, mutta tämä pinnoitepaksuus ei kuitenkaan vielä aikaansaa hyvää kulumiskestävyyttä. Mikäli halutaan saada suuri kulumiskestävyys, kerrospaksuuden tulee olla 60–120 µm. [14.]

Kovakromauksen käyttökohteita ovat mm. erilaiset työkalut, paperinohjaustelat, kalanteritelat, hydraulimännät, sylinterit, kampiakselit, laakeripinnat ja aseiden piiput. [1.]

## 9 TULOSTEN TARKASTELU

### 9.1 Metalliset pinnoitteet

Metallisten pinnoitteiden kulumisominaisuudet ovat todella hyvät sekä ne ovat todella kovia. Sekä booraus että kovakromaus ovat kalliita pinnoitusmenetelmiä näin suurille pinta-aloille. Yleensä näitä menetelmiä käytetään pienille kappaleille kuten työkaluille.

Kovakromi on erittäin kovaa ja kulumiskestävää joissain sovelluksissa kuten männissä sekä sylintereissä. Kovakromin huonoja puolia ovat kallis hinta sekä pinnoitusmenetelmän hankaluus.

### 9.2 Kumipinnoitteet

Kumipinnoitteita vertaamalla huomataan, että uretaanikumi on kulutuskestävin vaihtoehto. Ureetaanikumit ovat lähellä polyuretaanien ominaisuuksia kulumiskestävyydessä. Ureetaanikumit säilyttävät elastisuutensa kuormituksissa paremmin kuin muovit. Öljyn- ja säänkesto ovat paremmat kuin polyuretaanilla. Käyttölämpötila on  $-40...+80^{\circ}\text{C}$  eli melkein sama kuin polyuretaanilla. [2.] Kumipinnoitteiden hinnat ja ominaisuudet ovat lähellä polyuretaania.

Idea vulkanoidusta kumista tuli RaveLast Oy:n edustajalta, joka suositteli vulkanoitua kumia tai polyuretaania käytettäväksi tässä tapauksessa. Vulkanoidun kumin käyttökohteita ovat esimerkiksi autojen renkaat. Hinnat ovat yrityksen mukaan polyuretaanien kanssa samaa luokkaa. [18.]

### 9.3 Polyuretaani PUR

Polyuretaanin etuja muihin pinnoitteisiin, kuten metallisiin ovat:

- keveys (vain  $1.2 \text{ kg/dm}^3$ )
- pinnoitusmenetelmän helppous
- hyvä kulumiskestävyys
- ympäristöystävällisyys
- halpa hinta
- palo- ja sähköturvallisuus (ei kipinöi eikä johda sähköä)
- elastisuus (kestää iskuja sekä sallii joustoa). [9.]



Kuva 7. Polyuretaanipinnoite Blastman B20S-robotin käsivarressa.

Havaintoni Katera Steel Oy:n tiloissa olevasta Blastman B20S-robotista: Polyuretaanipinnoite kestää hyvin suihkupuhalluksesta syntyvää kulumista. Ainoat silmin havaittavat vauriot pinnoitteessa olivat syntyneet robotin törmäyksistä kappaleisiin. Robotin törmäykset tulisi minimoida, jotta polyuretaani säilyisi mahdollisimman hyvänä.

Nykyinen polyuretaanipinnoite on Soft Diamond S90/90, jonka paksuus noin 5mm ja kovuus Shore A-asteikolla on 90. Kulumisominaisuudet ovat tilaajan mukaan suhteellisen hyvät eikä robotteihin ole yleensä tarvinnut pinnoitteita vaihdella eikä korjailla.

Sain erään polyuretaanin valmistajalta tiedot heidän käyttämästään polyuretaanipinnoitteesta nimeltä RaveLastPU80 M1. Heidän polyuretaaninsa on MDI-esteripohjainen polyuretaani, jonka kovuus on  $80\pm3$  Shore A-asteikolla. Pinnoitteella on heidän mukaansa erittäin hyvä abrasiivisen kulutuksen kesto. Heidän edustajansa suositteli tällaiseen sovellukseen käytettäväksi joko polyuretaania tai vulkanoitua kumia eli luonnonkumia. Heidän yrityksessään hintaeroa näillä kahdella pinnoitteella ei juurikaan ole.

Polyuretaanien lukematon määrä sekä tieto saivat minut tuntemaan, että raapaisin vain pintaa tutkimuksissani. Polyuretaanin ominaisuudet ja mahdollisuudet ovat erittäin laajamittaiset, joten sen käytössä vain mielikuvitus on rajana. Tähän tutkittuun sovellukseen polyuretaani sopii mielestäni todella hyvin, eikä sitä kannattaisi lähteä vaihtamaan kalliimpaan tai vaikeammin pinnoitettavaan materiaaliin. Sen sijaan, eri valmistajien materiaaleja voisi kokeilla ja testata kulumiskestävyyttä.

Tilaajan mukaan myös muut seikat, kuten ulkonäkö vaikuttavat lopulliseen ratkaisuun. Tämä on ymmärrettävää, sillä antaahan ulkonäkö myös kuvan valmistajasta.

#### 9.4 Letkujen suojaus

Sähkökaapelit kulkevat kumisten letkujen sisällä suojassa raekuuroilta. Rakeet kuitenkin kuluttavat kumisuojia ja ne ovat vaihdettava säännöllisin väliajoin. Kumikaapeleiden suojaamiseen voitaisiin käyttää jäykemmästä ja kovemmasta materiaalista valmistettuja kaapeleita mutta silloin niiden liikkuvuus ja elastisuus kärsisi. Letkut voitaisiin vaihtaa termoplastisiin polyuretaaniletkuihin, joilla on hyvä kulutuskesto ja elastisuus.

#### 9.5 Muut suojauskeinot

Pinnoitetta voitaisiin mielestäni suojata kiinnitettävän suojalevyn avulla puhallettaessa kappaleita, joissa robotin ei tarvitse mennä aukoista sisään. Tällöin robotin käsivarren kasvanut paksuus ei olisi haitaksi. Ohut vaihdettava teräslevy ei toisi huomattavaa painoa robotin käsivarteen ja hankkimiskustannukset olisivat todella vähäiset. Teräslevy ratkaisulla saataisiin polyuretaanipinnoite kestäämään pidempään.

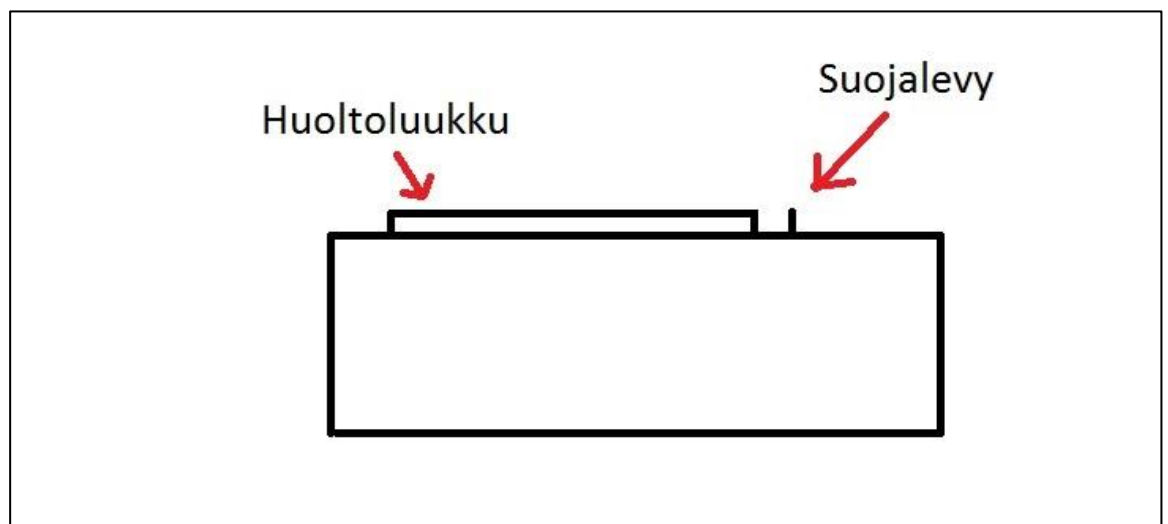
Robotin käsivarressa olevien moottorien huoltoluukkujen tiivisteistä tilaajan mukaan pääsee ajan saatossa hienojakoinen rae tunkeutumaan moottoritilaan. Rae kuluttaa kumisen tiivisteiden erityisesti luukun etuosasta. Ajattelin siihen asennettavaksi pientä suojalevyä, joka estäisi suoran suihkun luukun tiivisteeseen. Teräslevyn paino tai koko ei vaikuttaisi robotin liikkeisiin tai liikealueisiin millään tavoin.

Ensimmäisessä vaihtoehdossa suora suojalevy, korkeudeltaan noin 5-7mm, asennettaisiin käsivarren moottorin huoltoluukun eteen. Etäisyyttä huoltoluukun etuosaan voisi olla noin 10 mm tai vähemmän.



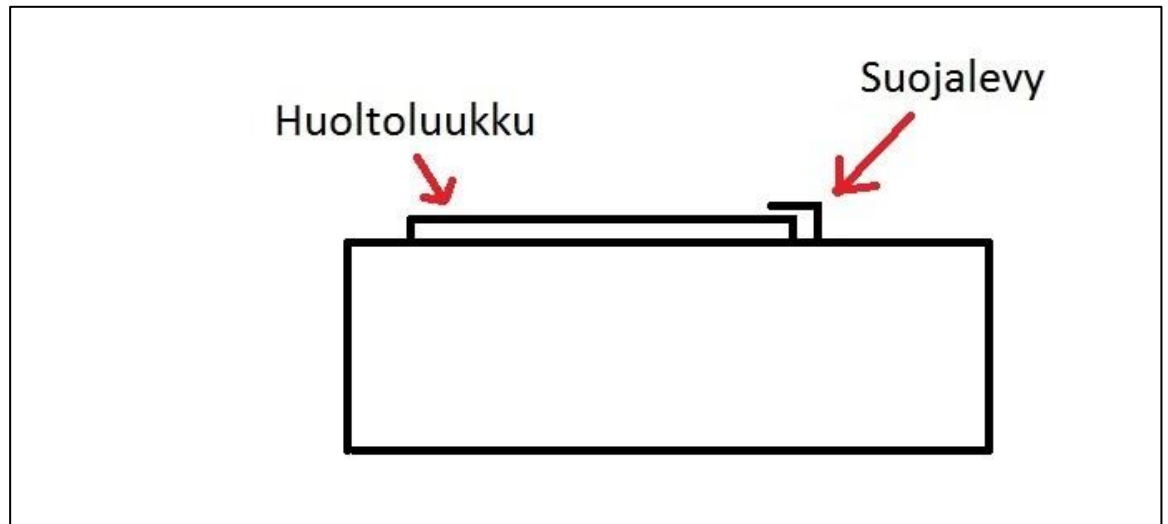


Kuva 8. Suojalevyn paikka.



Kuva 9. Suojalevyn periaate.

Toisessa suojalevyratkaisussa suojalevy olisi kulmaraudanmuotoinen ja osa siitä tulisi huoltoluukun päälle todella lähelle huoltoluukun yläreunaa, jotta paksuus ei kasvaisi huomattavasti.



Kuva 10. Suojalevyn toinen malli.

Pinnoitteen kulumista robotin käsivarressa tulisi ehkäistä myös oikeilla työtavoilla. Robotin ohjelmoinnissa tulisi ottaa huomioon kimpoavat rakeet ja pyrkiä ohjelmoimaan robotti sillä tavoin, että robotti ei puhaltaisi kohtisuoraan kappaleeseen. Kohtisuoraan puhaltaessa rakeet kimpoavat robotin käsivarteen kuluttaen sitä. Sen sijaan, aina kun vain mahdollista, tulisi puhaltaa hieman viistosti, jolloin rakeet suuntautuvat kimmotessaan muualle. Tällä keinoin voidaan ylimääräistä kulumista etenkin käsivarren kärjessä vähentää.

## 10 YHTEENVETO

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin pinnoitteiden ominaisuuksia sekä niiden soveltuvuutta raepuhallusrobotin käsivarteen. Käsivarren suojaus nykyisellään on erittäin kestävä. Polyuretaanin edullisuus, keveys, elastisuus sekä helppo asennettavuus tekevät siitä voittamattoman tällaisissa sovelluksissa. Erilaisia polyuretaaneja on lukuisia vaihtoehtoja. Polyuretaanin paksuutta vaihtelemalla, voidaan pinnoitteen käyttöikää lisätä.

Vulkanoitua tai uretaanikumia voisi kokeilla, sillä niiden ominaisuudet ovat teoriassa hyvät mutta tapauskohtainen kestävyys selviäisi vasta testaamalla. Näillä kumeilla on polyuretaanin kaltaiset ominaisuudet.

Letkujen suojaukseen ei löydetty parempaa ratkaisua kuin nykyinen kumiletku. Kumiletkun elastisuus on tärkein asia liikkuvissa osissa, joten kovempi kuori tarkoittaisi myös jäykempää kaapelia.

Käsivarren moottorien huoltoluukkujen eteen olisi järkevää asentaa pieni teräslevy, mahdollisesti jo käsivarren rakennusvaiheessa. Teräslevy estäisi hienojakoisen rakeen tunkeutumisen kumisen tiivisteiden läpi moottoritilaan. Oikeanlaiset puhallustavat sekä ohjelmointi estävät robotin törmäilyt ja pinnoite kestää näin ollen pidempään.

## LÄHTEET

- (1) Tunturi P, Tunturi PJ. Metallien pinnoitteet ja pintakäsittelyt. 3. p. ed. [Helsinki]: Metalliteollisuuden kustannus; 1999.
- (2) Raaka-ainekäsikirja. 4, Muovit, kumit. [Jyväskylä]: Valmet oy Rautpohja; 1984.
- (3) Koivisto K. Konetekniikan materiaalioppi. 12. uud. p. ed. Helsinki: Edita; 2008.
- (4) Kuittinen, H & Häkkinen, O. Korroosionestomaalauksen laitetekniikka. Helsinki: Metalliteollisuuden Kustannus Oy; 1989.
- (5) Jokinen, I., Kuusela, A. & Nikkari, T. Metallituotteiden maalaus. Jyväskylä: Opetushallitus; 2001.
- (6) Blastman Robotics Oy. Internet-sivut. <http://www.blastman.com/sivu/fi/> (Haettu 18.3.2016)
- (7) Wikipedia-artikkeli: Polyuretaani. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Polyuretaani> (Haettu 18.3.2016)
- (8) Internetsivut: Muovimuotoilu. <http://www.muovimuotoilu.fi/content/view/49/82/> (Haettu 18.3.2016)
- (9) Yrityssivut. Ravelast. <http://www.ravelast.com/tutkimus-ja-kehitys/pu-elastomeerit.html> (haettu 21.3.2016)
- (10) Tekniset tiedot: Blastman B20S Technical Specification 2015
- (11) Lepola P, Makkonen M. Materiaalit ja niiden käyttö. Porvoo: WSOY; 2000.
- (12) SP-Plast yritysivut, Vulkollan <http://www.sp-plast.fi/materiaalit/vulkollan/> (haettu 13.4.2016)

(13) Kurri V, Pohjapelto K. Muovitekniikan perusteet. Helsinki: Opetushallitus; 1999.

(14) Standardi SFS-EN ISO 6158 2005, 22.

(15) RaveLastPU80 M1 datasheet

(16) Shore hardness scales.

[http://www.smooth-on.com/pdf/durometer\\_with\\_logo.pdf](http://www.smooth-on.com/pdf/durometer_with_logo.pdf) (haettu 24.4.2016)

(17) Wikipedia-artikkeli: Shore Durometer.

[https://en.wikipedia.org/wiki/Shore\\_durometer](https://en.wikipedia.org/wiki/Shore_durometer) (haettu 24.4.2016)

(18) Rukajärvi, P. 2016. Polyuretaanipinnoitteesta. Sähköpostiviesti 15.4.2016. Vastaanottaja T. Heiskanen.

## LIITTEET

LIITE 1 1/2 Suojalevy

LIITE 1 2/2 Suojalevy

